



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**27.02.2002 Patentblatt 2002/09**

(51) Int Cl.7: **G01R 33/07**

(21) Anmeldenummer: **01202840.3**

(22) Anmeldetag: **24.07.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU**  
**MC NL PT SE TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(72) Erfinder:  
 • Popovic, Radivoje  
 1025 St-Sulpice (CH)  
 • Racz, Robert  
 6300 Zug (CH)  
 • Schott, Christian  
 1110 Morges (CH)

(30) Priorität: **21.08.2000 CH 20001645**

(71) Anmelder: **SENTRON AG**  
**6300 Zug (CH)**

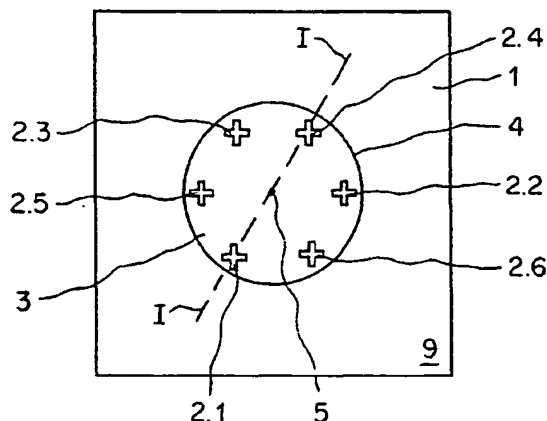
(74) Vertreter: **Falk, Urs, Dr.**  
**Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk, Eichholzweg 9A**  
**6312 Steinhausen (CH)**

(54) **Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes**

(57) Ein Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes umfasst einen einzigen Magnetfeldkonzentrator (3) mit einer flächigen Form und mindestens ein erstes horizontales Hallelement (2.1) und ein zweites horizontales Hallelement (2.2), wobei die Hallelemente im Bereich des Randes (4) des Magnetfeldkonzentrators (3) angeordnet sind. Der Magnetfeldkonzentrator (3) verändert in seinem Umfeld den Verlauf der Feldlinien (13) des Magnetfeldes und bewirkt insbeson-

dere, dass die Feldlinien, die bei Abwesenheit des Magnetfeldkonzentrators (3) parallel zur Oberfläche (8) der Hallelemente (2.1, 2.2) verlaufen würden, die Hallelemente (2.1, 2.2) annähernd senkrecht zu ihrer Oberfläche (8) durchdringen. Anstelle der horizontalen Hallelemente können auch vertikale Hallelemente verwendet werden, wenn sie neben dem Magnetfeldkonzentrator angeordnet werden. Der Sensor eignet sich insbesondere als Winkelsensor.

**Fig. 1**



**BEST AVAILABLE COPY**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

[0002] Ein solcher Sensor eignet sich beispielsweise als Winkelsensor für die Steuerung bürstenloser Elektromotoren, die einen aus mehreren Spulen bestehenden Stator aufweisen. Der Rotor des Elektromotors weist einen Permanentmagneten auf, der mit dem Sensor zusammenwirkt zur Erzeugung eines vom Drehwinkel abhängigen Signals für die phasengerechte Ansteuerung der Spulen. Eine solche Anordnung ist aus der europäischen Patentanmeldung EP 954 085 bekannt. Als Sensor dient ein vertikales Hallelement mit mehreren Armen, wobei in jedem Arm eine von der Drehlage des Permanentmagneten abhängige Hallspannung erzeugt wird. Die Hallspannungen werden zur Ansteuerung der Spulen des Elektromotors verwendet. Das vertikale Hallelement ist empfindlich auf die parallel zur Chipoberfläche verlaufenden Komponenten des vom Permanentmagneten erzeugten Magnetfeldes. Es hat den Nachteil, dass es nicht zusammen mit der Verarbeitungselektronik auf demselben Chip realisiert werden kann, da es auf einer speziellen Halbleitertechnologie basiert.

[0003] Bekannt ist auch die Verwendung horizontaler Hallelemente, die empfindlich auf die senkrecht auf die Chipoberfläche auftreffende Komponente des vom Permanentmagneten erzeugten Magnetfeldes sind. Diese Hallelemente sind zwar mit der Verarbeitungselektronik auf demselben Chip integrierbar. Aber dieser Lösung haftet der Nachteil an, dass die Hallelemente im Bereich des Randes des Permanentmagneten angeordnet sein müssen, wo die vertikale Komponente des Magnetfeldes am grössten ist. Im Bereich der Drehachse ist die vertikale Komponente nämlich klein. Die Platzierung der Hallelemente ist abhängig von den Abmessungen des Permanentmagneten. Bei grösseren Permanentmagneten ist es dann nicht mehr wirtschaftlich, die Hallelemente auf einem einzigen Halbleiterchip zu integrieren.

[0004] Aus der europäischen Patentanmeldung EP 893 668 ist ein Winkelsensor mit einem Magnetfeldsensorelement bekannt ist, das auf dem Magnetowiderstandseffekt beruht. Um den messbaren Winkelbereich auf mehr als 180° zu erhöhen, ist zusätzlich ein horizontales Hallelement vorhanden. Das Hallelement muss aber an einer anderen Stelle als das Magnetfeldsensorelement positioniert sein, da das Magnetfeldsensorelement die horizontal verlaufenden Komponenten des Magnetfeldes des rotierenden Permanentmagneten, das Hallelement aber die vertikale Komponente des Magnetfeldes messen muss. Auf dem Magnetowiderstandseffekt beruhende Sensoren zeigen zudem Hystereseeffekte, die das Auflösungsvermögen begrenzen.

[0005] Aus der europäischen Patentanmeldung EP 772 046 ist ein Magnetfeldsensor bekannt, der empfindlich auf parallel zur Chipoberfläche gerichtete Magnet-

felder ist und zusammen mit der Elektronik auf einem Halbleiterchip realisierbar ist. Mit einem solchen Magnetfeldsensor lässt sich aber nur eine einzige Komponente des Magnetfeldes messen.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Sensor vorzuschlagen, der die eingangs erwähnten Nachteile nicht mehr aufweist.

[0007] Die Erfindung besteht in den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0008] Gemäss einem ersten Aspekt der Erfindung umfasst ein Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes einen einzigen Magnetfeldkonzentrator mit einer flächigen Form und mindestens ein erstes Hallelement und ein zweites Hallelement oder mindestens eine erste Gruppe und eine zweite Gruppe von Hallelementen, wobei die Hallelemente im Bereich des Randes des Magnetfeldkonzentrators angeordnet sind.

[0009] Der flächige Magnetfeldkonzentrator hat die Aufgabe, ein externes Magnetfeld derart zu beeinflussen, dass es die Hallelemente in optimaler Weise durchflutet.

[0010] Die Hallelemente können sogenannte horizontale Hallelemente oder sogenannte vertikale Hallelemente sein. Horizontale Hallelemente sind empfindlich auf die Komponente des Magnetfeldes, die senkrecht auf ihre Oberfläche auftrifft, während vertikale Hallelemente empfindlich sind auf eine Komponente des Magnetfeldes, die parallel zu ihrer Oberfläche verläuft. Horizontale Hallelemente sind demzufolge unterhalb des Magnetfeldkonzentrators, vertikale Hallelemente im Bereich neben dem Rand, ausserhalb des Magnetfeldkonzentrators anzuordnen.

[0011] Gemäss einem anderen Aspekt der Erfindung umfasst ein Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes mindestens drei in einer Ebene, bezüglich eines Symmetriepunktes symmetrisch angeordnete Magnetfeldkonzentratoren, die im Bereich des Symmetriepunktes einander zugewandte Kanten aufweisen, die parallel zueinander verlaufen, und pro Magnetfeldkonzentrator ein Hallelement oder eine Gruppe von Hallelementen, wobei die Hallelemente im Bereich der parallel verlaufenden Kanten des Randes des zugehörigen Magnetfeldkonzentrators angeordnet sind.

[0012] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0013] Es zeigen:

- Fig. 1, ein erstes Beispiel eines erfindungsgemässen Sensors mit horizontalen Hallelementen,
- Fig. 2, den Sensor in einem Schnitt entlang der Linie I-I in Fig. 1,
- Fig. 3, ein zweites Beispiel eines erfindungsgemässen Sensors,
- Fig. 4, Details des Sensors,
- Fig. 5, 6, ein Beispiel eines erfindungsgemässen Sensors mit vertikalen Hallelementen,



Fig. 7a, b erfindungsgemässe Sensoren, mit denen sich die Richtung eines äusseren Magnetfeldes in drei Dimensionen bestimmen lässt, und

Fig. 8-11 weitere erfindungsgemässe Sensoren.

[0014] Die Fig. 1 zeigt in Aufsicht einen erfindungsgemässen Sensor, der sich z.B. als Winkelsensor für die Steuerung eines bürstenlosen Elektromotors mit drei Spulen eignet. Der Sensor umfasst einen Halbleiterchip 1 mit sechs horizontalen Hallelementen 2.1 bis 2.6 und einen einzigen Magnetfeldkonzentrator 3. Bei diesem ersten Beispiel ist der Magnetfeldkonzentrator 3 scheibenförmig ausgebildet und die sechs Hallelemente 2 sind in gleichmässigen Abständen verteilt entlang des Randes 4 des Magnetfeldkonzentrators 3 angeordnet.

[0015] Die Hallelemente 2.1 bis 2.6 sind in an sich bekannter Technologie, vorzugsweise in CMOS Technologie als n-Wanne 6 (Fig. 2) in einem p-dotierten Substrat 7 (Fig. 2) realisiert. Horizontale Hallelemente sind empfindlich auf die Komponente des Magnetfeldes, die senkrecht auf die Oberfläche 8 des Halbleiterchips 1 auftrifft. Im Beispiel haben die Hallelemente 2.1 bis 2.6 eine kreuzförmige Struktur, deren Ausrichtung vorzugsweise parallel zur 100 Kristallachse ist, damit der Einfluss veränderlicher mechanischer Spannungen auf das Hallsignal möglichst gering bleibt.

[0016] Der Magnetfeldkonzentrator 3 besteht aus ferromagnetischem Material, vorzugsweise aus Permalloy oder Mumetall oder einem Metallglas, die z.B. als Band von etwa 15µm bis 30µm Dicke erhältlich sind. Bevorzugt wird ein Metallglas mit einer vergleichsweise geringen Koerzitivfeldstärke, damit keine Hystereseeffekte auftreten. Zudem ist deren Magnetisierung weitgehend isotrop.

[0017] Der Magnetfeldkonzentrator 3 erstreckt sich in einer Ebene 9 und hat eine flächige Form, d.h. seine Dicke ist wesentlich geringer als seine Ausdehnung in der Ebene. Der Magnetfeldkonzentrator 3 weist vorzugsweise eine gleichmässige Dicke auf. Er kann aber in der Mitte dicker als am Rand ausgebildet sein. Der Magnetfeldkonzentrator 3 wirkt daher als Konzentrator für die Komponenten des Magnetfeldes, die in der Ebene 9 liegen. Die Funktion des Magnetfeldkonzentrators 3 wird anhand der Fig. 2 näher erläutert. Der Magnetfeldkonzentrator 3 weist bei diesem Beispiel ein Symmetriezentrum 5 auf, er ist nämlich rotationssymmetrisch.

[0018] Die Fig. 2 zeigt den Sensor in einem Schnitt entlang der Linie I-I der Fig. 1, sowie einen ein Magnetfeld erzeugenden Permanentmagneten 10, der z.B. auf der Drehachse 11 eines bürstenlosen Elektromotors 12 mit drei Spulen angebracht ist. Der Magnetfeldkonzentrator 3 verändert in seinem Umfeld den Verlauf der Feldlinien 13 des Magnetfeldes und bewirkt insbesondere, dass die Feldlinien, die bei Abwesenheit des Magnetfeldkonzentrators 3 parallel zur Oberfläche 8 des Halbleiterchips 1 verlaufen würden, das Hallelement 2.1

annähernd senkrecht zur Oberfläche 8 durchdringen. Die relative Permeabilität des Materials des Magnetfeldkonzentrators 3 ist grösser als 1000, während die relative Permeabilität von Luft und vom Halbleitersubstrat 7 etwa 1 beträgt. Die Feldlinien sind daher praktisch immer senkrecht zur Oberfläche des Magnetfeldkonzentrators 3 gerichtet. Die Hallelemente 2.1 bis 2.6 sind im Bereich des seitlichen Randes 4 des Magnetfeldkonzentrators 3 angeordnet, da die vertikale Komponente des Magnetfeldes dort am grössten ist.

[0019] Einander bezüglich des Symmetriezentrums 5 (Fig. 1) diametral gegenüberliegende Hallelemente bilden je ein Paar zur Erzeugung eines Ausgangssignals, wobei die Hallspannung des einen Hallelementes von der Hallspannung des anderen Hallelementes subtrahiert wird. Da die Feldlinien die beiden Hallelemente eines Paares in entgegengesetzter vertikaler Richtung durchdringen, addieren sich die Spannungen, die durch die "Umlenkung" des Magnetfeldes entstehen, während sich Hallspannungen, die beispielsweise aufgrund eines äusseren, die Hallelemente senkrecht durchdringenden magnetischen Störfeldes entstehen, sich gegenseitig aufheben. Zudem werden technologiebedingte Offsetspannungen mindestens teilweise kompensiert. Die Hallelemente 2.1 und 2.4 erzeugen also gemeinsam das Ausgangssignal  $S_1$ , die Hallelemente 2.2 und 2.5 erzeugen das Ausgangssignal  $S_2$  und die Hallelemente 2.3 und 2.6 erzeugen das Ausgangssignal  $S_3$ . Die Stärke der Ausgangssignale  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  hängt ab von der Richtung des Magnetfeldes in der Ebene 9.

[0020] Wenn der Permanentmagnet 10 um die Drehachse 11 rotiert, dann rotiert das Magnetfeld mit und erzeugt etwa sinusförmige Ausgangssignale  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$ , die um 120° phasenverschoben sind. Das Ausgangssignal  $S_1$  ist immer dann maximal, wenn die Richtung des Magnetfeldes des Permanentmagneten 10 parallel zur Achse ist, die die beiden Hallelemente 2.1 und 2.4 verbindet, das Ausgangssignal  $S_2$  ist immer dann maximal, wenn die Richtung des Magnetfeldes des Permanentmagneten 10 parallel zur Achse ist, die die beiden Hallelemente 2.3 und 2.5 verbindet, etc. Die Ausgangssignale  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  können wie in der europäischen Patentanmeldung EP 954085 beschrieben ist, zur Steuerung der drei Spulen des Elektromotors 12 verwendet werden.

[0021] Die Ausgangssignale  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  können aber auch zur Bestimmung des Drehwinkels  $\phi$  der Drehachse 11 benutzt werden, wenn der Elektromotor 12 stillsteht. Hier kommt es darauf an, dass den Ausgangssignalen  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  möglichst keine Signale überlagert sind, die nicht vom Magnetfeld des Permanentmagneten 10 stammen. Das vorgeschlagene Beispiel mit den jeweils paarweise gekoppelten Hallelementen eignet sich hierzu besonders, da der Einfluss externer Störfelder weitgehend eliminiert und technologiebedingte Offsetspannungen weitgehend kompensiert sind. Technologiebedingte Offsetspannungen können weiter reduziert werden, wenn anstelle der einzelnen Hallele-

mente 2.1 bis 2.6 aus zwei oder mehreren Hallelementen bestehende Gruppen von Hallelementen verwendet werden, wobei die Stromrichtungen in den verschiedenen Hallelementen einer Gruppe unterschiedlich sind.

[0022] Ein solches Beispiel ist in der Fig. 3 dargestellt, wo vier Gruppen 14 bis 17 mit je zwei Hallelementen 2.1 bis 2.8 vorhanden sind. Einander diametral gegenüberliegende Gruppen von Hallelementen werden paarweise gekoppelt, so dass der Sensor zwei Ausgangssignale  $S_1$  und  $S_2$  liefert. D.h. also, dass aus den Hallspannungen der Hallelemente 2.1, 2.2, 2.5, und 2.6 das Ausgangssignal  $S_1$  gebildet und aus den Hallspannungen der Hallelemente 2.3, 2.4, 2.7 und 2.8 das Ausgangssignal  $S_2$  gebildet wird. In der Fig. 3 sind die Hallelemente kreuzförmig und jedem Hallelement ist ein Pfeil zugeordnet, der die Stromrichtung innerhalb des Hallelementes anzeigt. Bei diesem Beispiel weist der Magnetfeldkonzentrator 3 ebenfalls eine kreuzförmige Struktur auf, was zu einer gegenüber der im vorhergehenden Beispiel gezeigten kreisförmigen Struktur höheren Konzentration des Magnetfeldes am Ort der Hallelemente führt. Dieser Sensor eignet sich z.B. für die Steuerung eines Elektromotors 12 mit zwei Spulen. Bei Bedarf ist es möglich, den Wert der Ausgangssignale  $S_1$  und  $S_2$  in Funktion des Drehwinkels  $\phi$  zu speichern. Da die Ausgangssignale  $S_1$  und  $S_2$  phasenverschoben sind, lässt sich der Drehwinkel  $\phi$  anhand der Ausgangssignale  $S_1$  und  $S_2$  problemlos eindeutig bestimmen.

[0023] Die Fig. 4 zeigt, bezogen auf den Sensor des ersten Beispiels, in schematischer, nicht massstabsgetreuer Darstellung den Halbleiterchip 1 mit den beiden integrierten Hallelementen 2.1 und 2.4, die einander in der Ebene bezüglich der Drehachse 11 diametral gegenüberliegen (siehe auch Fig. 1), und den kreisförmigen Magnetfeldkonzentrator 3. Mit vertikalen Pfeilen sind die Stärke und Richtung des vom Permanentmagneten 10 (Fig. 2) erzeugten Feldes im Bereich der beiden Hallelemente 2.1 und 2.4 dargestellt. Eine Verschiebung des Magnetfeldkonzentrators 3 aus der idealen Position in positiver x-Richtung bewirkt eine Abnahme der Hallspannung im Hallelement 2.1 und eine Zunahme der Hallspannung im Hallelement 2.4. Vorteilhafterweise ist der Durchmesser des Magnetfeldkonzentrators 3 so auf den Abstand der beiden Hallelemente 2.1 und 2.4 abgestimmt, dass sich beide Hallelemente 2.1 und 2.4, bei idealer Lage des Magnetfeldkonzentrators 3 bezüglich der beiden Hallelemente 2.1 und 2.4, nicht innerhalb der Zone befinden, wo die Feldstärke des Magnetfeldes ihr Maximum erreicht: Die Hallelemente 2.1 und 2.4 sind entweder näher beim Zentrum, wie in der Fig. 4 gezeigt, oder entfernter vom Zentrum platziert. Der Einfluss von Positionierungsvariationen des Magnetfeldkonzentrators 3 bezüglich der beiden Hallelemente 2.1 und 2.4 wird so minimiert.

[0024] Falls der Sensor nur zur Steuerung eines Elektromotors dient, wobei der Drehwinkel im Stillstand des Motors nicht interessiert, dann genügt es, wenn nur eines der paarweise gekoppelten Hallelemente vorhan-

den ist. Beim ersten Ausführungsbeispiel sind dies die Hallelemente 2.1, 2.2 und 2.3.

[0025] Anstelle eines kreisförmigen Magnetfeldkonzentrators kann auch ein Magnetfeldkonzentrator mit einer anderen, z.B. polygonalen Form, verwendet werden. Insbesondere aus photolithographischen Gründen kann es angezeigt sein, die Kreisform durch ein Vieleck anzunähern. Ebenso kann die Zahl der Hallelemente erhöht werden.

[0026] Die Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit vertikalen Hallelementen 2. Vertikale Hallelemente sind empfindlich auf die Komponente des Magnetfeldes, die das Hallelement parallel zur Oberfläche 8 des Halbleiterchips 1 durchdringen. Ein mit der Elektronik integrierbares vertikales Hallelement ist beispielsweise im amerikanischen Patent US 5572058 beschrieben. Die vertikalen Hallelemente 2 sind tangential zum Rand 4 des Magnetfeldkonzentrators 3 ausgerichtet. Sie befinden sich im Bereich des Randes 4 des Magnetfeldkonzentrators 3, aber nicht unterhalb des Magnetfeldkonzentrators 3 wie die horizontalen Hallelemente, sondern seitlich versetzt ausserhalb des Magnetfeldkonzentrators 3, wo die parallel zur Oberfläche 8 des Halbleiterchips 1 verlaufenden Feldlinien 13 (Fig. 2) des Magnetfeldes am grössten sind.

[0027] Die Fig. 6 zeigt mit Pfeilen die Stärke der horizontal verlaufenden Feldlinien 13 (Fig. 2) des Magnetfeldes im Bereich der vertikalen Hallelemente 2, wobei die Länge der Pfeile proportional zur Stärke des Magnetfeldes ist.

[0028] Die Vorteile dieser Lösungen gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen liegen darin, dass

- a) die Position der Hallelemente bezüglich des Permanentmagneten unkritisch ist, da die Hallelemente nicht im Bereich des Randes des Permanentmagneten platziert werden müssen, wo die vertikale Komponente des Magnetfeldes am grössten ist, sondern im Bereich der Drehachse, wo die horizontalen Komponenten am grössten sind, so dass die Platzierung des Halbleiterchips, in dem die Hallelemente integriert sind, unabhängig von der Lage des Randes des Permanentmagneten erfolgen kann.
- b) der Magnetfeldkonzentrator das Magnetfeld im Bereich der Hallelemente zusätzlich verstärkt,
- c) die Hallelemente und die Verarbeitungselektronik auf dem gleichen Halbleiterchip integrierbar sind, und
- d) eine in den üblichen Fertigungstoleranzen liegende Abweichung der Ist-Lage des Magnetfeldkonzentrators von seiner Soll-Lage kaum Einfluss auf die erzeugten Signale hat.

[0029] Die beschriebenen Sensoren eignen sich auch als Winkelsensor für die in der eingangs zitierten europäischen Patentanmeldung EP 893 668 beschriebenen Anwendungen.

**[0030]** Die Fig. 7a zeigt ein drittes Beispiel eines erfindungsgemässen Sensors, bei dem der Magnetfeldkonzentrator 3 die Form eines Kreislings aufweist. Dies erlaubt die Anordnung eines weiteren horizontalen Hallelementes 2', beispielsweise im Zentrum des Kreislings, mit dem die senkrecht auf das Hallelement 2' auftreffende Komponente des Magnetfeldes gemessen werden kann. Ein solcher Sensor eignet sich z.B. für die Verwendung in einem Joystick, da sich damit die Richtung eines äusseren Magnetfeldes in drei Dimensionen bestimmen lässt.

**[0031]** Da der Magnetfeldkonzentrator 3 sehr dünn ist, beeinflusst er die senkrecht auf das Hallelement 2' auftreffende Komponente des Magnetfeldes praktisch nicht. Auch mit dem in der Fig. 7b dargestellten Sensor lässt sich die Richtung eines äusseren Magnetfeldes in drei Dimensionen bestimmen. Allerdings besteht hier die Gefahr, dass sich der vertikalen Komponente horizontale Komponenten überlagern, weil der Magnetfeldkonzentrator 3 erstens die horizontalen Komponenten verstärkt und zweitens bei Abweichungen des Magnetfeldkonzentrators 3 von seiner Soll-Lage auch horizontale Komponenten des Magnetfeldes das Hallelement 2' in senkrechter Richtung durchdringen könnten.

**[0032]** Anzumerken ist jedoch, dass beim Beispiel nach Fig. 7a der Magnetfeldkonzentrator 3 auch für die vertikale Komponente des Magnetfeldes als Konzentrador wirken kann, nämlich dann, wenn die Breite des ferromagnetischen Kreislings vergleichbar mit seiner Dicke ist. Aus der Summe der Signale der beiden Hallelemente 2.1 und 2.3 oder der Summe der Signale der beiden Hallelemente 2.2 und 2.4 lässt sich ein Signal gewinnen, das proportional zur vertikalen Komponente des Magnetfeldes ist, während sich aus den Differenzen, wie oben dargelegt, die horizontalen Komponenten des Magnetfeldes bestimmen lassen. Das Hallelement 2' kann dann sogar entfallen.

**[0033]** Ein einzelnes Hallelement beansprucht eine relativ kleine Fläche von typischerweise einigen zehn \* einigen zehn Mikrometern. Der Durchmesser des kreisförmigen Magnetfeldkonzentrators beträgt etwa 0.2 mm bis 0.5 mm. Im Idealfall ist der Durchmesser des Magnetfeldkonzentrators geringer als der Durchmesser des Permanentmagneten, der typischerweise 1.3 mm oder mehr beträgt.

**[0034]** Typischerweise führt ein äusseres Feld ab 20 mT im Magnetfeldkonzentrator zu Sättigungseffekten. Wenn der Soll-Abstand zwischen dem Permanentmagneten und dem Sensor so gewählt wird, dass der Magnetfeldkonzentrator mindestens teilweise magnetisch gesättigt ist, dann hat dies den Vorteil, dass die Ausgangssignale  $S_1$ ,  $S_2$ , etc. nicht oder nur wenig von Abstandsschwankungen des Permanentmagneten vom Sensor abhängen.

**[0035]** Es ist auch möglich, die Hallelemente als Impulsgeber zu betreiben, wobei der rotierende Permanentmagnet pro Umdrehung so viele Impulse erzeugt, wie Hallelemente vorhanden sind.

**[0036]** Die Fig. 8 zeigt einen Winkelsensor mit drei Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2 und 18.3, der sich wie der Sensor des ersten Beispiels zusammen mit einem als Winkelgeber wirkenden Permanentmagneten als Winkelsensor zur Steuerung eines drei Spulen aufweisenden Elektromotors eignet. Die Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2 und 18.3 sind symmetrisch bezüglich eines Symmetriepunktes 19 angeordnet, nämlich mit einer 120° Rotationssymmetrie. Im Bereich des dem Symmetriepunkt 19 zugewandten Randes 4 eines jeden Magnetfeldkonzentrators befindet sich ein horizontales Hallelement 2.1, 2.2 bzw. 2.3. Der Rand 4 der Magnetfeldkonzentratoren ist unterteilt in zwei Bereiche, nämlich einen inneren Bereich, wo einander gegenüberliegende Kanten 20 der Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2 und 18.3 parallel verlaufen, damit die Dichte der Feldlinien des Magnetfeldes im Spalt zwischen den beiden Kanten 20 möglichst homogen ist und eine Sättigung der Spitzen vermieden wird, und einen äusseren Bereich, wo der Abstand zwischen benachbarten Magnetfeldkonzentratoren viel grösser ist, um zu vermeiden, dass das Magnetfeld hier "kurzgeschlossen" wird. Der äussere Rand 21 der Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2 und 18.3 erstreckt sich über einen möglichst grossen Winkelbereich, um das äussere Magnetfeld möglichst effizient im Bereich der Hallelemente 2.1, 2.2 bzw. 2.3 zu konzentrieren und um Sättigungsspitzen zu vermeiden, welche die Winkelabhängigkeit der Signale beeinflussen. Bei diesem Beispiel liefert jedes Hallelement 2.1, 2.2 bzw. 2.3 ein Ausgangssignal  $S_1$ ,  $S_2$  bzw.  $S_3$ .

**[0037]** Anstelle der einzelnen Hallelemente 2.1, 2.2 bzw. 2.3 können auch Gruppen von Hallelementen vorgesehen sein, die untereinander bereits offsetkorrigiert sind.

**[0038]** Die Fig. 9 und 10 zeigen zwei weitere Sensoren mit vier Magnetfeldkonzentratoren 18.1 bis 18.4, mit denen sich die Richtung eines Magnetfeldes in zwei räumlichen Dimensionen bestimmen lassen. Hier sind je zwei einander bezüglich des Symmetriepunktes 19 diametral gegenüberliegende Hallelemente zu einem Paar gekoppelt: Die Hallelemente 2.1 und 2.3 erzeugen gemeinsam das Ausgangssignal  $S_1$ , die Hallelemente 2.2 und 2.4 erzeugen gemeinsam das Ausgangssignal  $S_2$ . Aus den Ausgangssignalen  $S_1$  und  $S_2$  lässt sich die Richtung des Magnetfeldes in der Ebene 9 des Sensors bestimmen.

**[0039]** Bei den in den Fig. 8 bis 10 gezeigten Sensoren müssen die Magnetfeldkonzentratoren nicht flächig ausgebildet sein. Sie können gegen den Rand dicker ausgebildet oder an zusätzliche externe Magnetfeldkonzentratoren angekoppelt sein, um das Magnetfeld im Bereich der Hallelemente möglichst effizient zu konzentrieren.

**[0040]** Die Fig. 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit drei Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2, 18.3 und drei vertikalen Hallelementen 2.1, 2.2, 2.3, die jeweils in der Mitte zwischen den parallel verlaufenden Kanten 20 be-

nachbarter Magnetfeldkonzentratoren 18.1, 18.2, 18.3 angeordnet sind.

**[0041]** Während Ausführungsbeispiele und Anwendungen dieser Erfindung gezeigt und beschrieben wurden, ist es für die Fachleute offenbar, dass im Lichte dieser Ausführungen viele weitere Modifikationen als die vorgängig erläuterten möglich sind, ohne vom erfindatorischen Konzept abzuweichen. Die Erfindung ist daher nicht einzuschränken, ausgenommen im Sinne der Ansprüche.

#### Patentansprüche

1. Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes, umfassend:

- einen einzigen Magnetfeldkonzentrator (3) mit einer flächigen Form,
- mindestens ein erstes Hallelement (2.1) und ein zweites Hallelement (2.2) oder mindestens eine erste Gruppe (14) und eine zweite Gruppe (15) von Hallelementen, wobei die Hallelemente im Bereich des Randes (4) des Magnetfeldkonzentratoren (3) angeordnet sind.

2. Sensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnetfeldkonzentrator (3) ein Symmetriezentrum (5) aufweist, dass ein drittes Hallelement (2.4) und ein viertes Hallelement (2.5) oder eine dritte Gruppe (16) und eine vierte Gruppe (17) von Hallelementen vorhanden sind, wobei die Hallelemente im Bereich des Randes (4) des Magnetfeldkonzentratoren (3) angeordnet sind, dass das erste Hallelement (2.1) und das dritte Hallelement (2.4) bzw. die erste Gruppe (14) von Hallelementen und die dritte Gruppe (16) von Hallelementen symmetrisch bezüglich des Symmetriezentrums (5) angeordnet sind, und dass das zweite Hallelement (2.2) und das vierte Hallelement (2.5) bzw. die zweite Gruppe (15) von Hallelementen und die vierte Gruppe (17) von Hallelementen symmetrisch bezüglich des Symmetriezentrums (5) angeordnet sind.

3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hallelemente (2) horizontale Hallelemente sind.

4. Sensor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hallelemente (2) auf der dem Zentrum des Magnetfeldkonzentratoren (3) zugewandten Seite des Randes (4) des Magnetfeldkonzentratoren (3) angeordnet sind.

5. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hallelemente (2) vertikale Hallelemente sind und dass die Hallelemente (2) aus-

serhalb des Magnetfeldkonzentratoren (3) angeordnet sind.

6. Sensor für die Detektion der Richtung eines Magnetfeldes, umfassend:

- mindestens drei in einer Ebene, bezüglich eines Symmetriepunktes (19) symmetrisch angeordnete Magnetfeldkonzentratoren (18.1, 18.2, 18.3; 18.1, 18.2, 18.3, 18.4), bei denen einander zugewandte, benachbarte Kanten (20) im Bereich des Symmetriepunktes (19) teilweise parallel zueinander verlaufen, und
- pro Magnetfeldkonzentrator (18.1, 18.2, 18.3; 18.1, 18.2, 18.3, 18.4) ein Hallelement (2.1, 2.2, 2.3; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4) oder eine Gruppe von Hallelementen, wobei die Hallelemente im Bereich der parallel verlaufenden Kanten (20) des Randes (4) des zugehörigen Magnetfeldkonzentratoren (3) angeordnet sind.

7. Sensor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hallelemente (2.1, 2.2, 2.3; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4) horizontale Hallelemente sind.

8. Sensor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hallelemente (2.1, 2.2, 2.3) vertikale Hallelemente sind.

9. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der bzw. die Magnetfeldkonzentratoren (3; 18.1, 18.2, 18.3) aus Metallglas sind.

10. Verwendung eines Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 9 als Winkelsensor zur Bestimmung der Drehlage eines um eine Drehachse (11) drehbaren Objektes, wobei auf der Drehachse (11) ein Permanentmagnet (10) befestigt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen dem Sensor und dem Permanentmagneten (10) so gewählt ist, dass der Magnetfeldkonzentrator (3) magnetisch mindestens teilweise in Sättigung ist.

Fig. 1

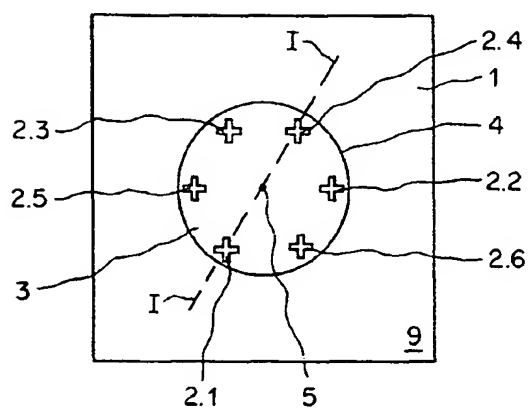


Fig. 2

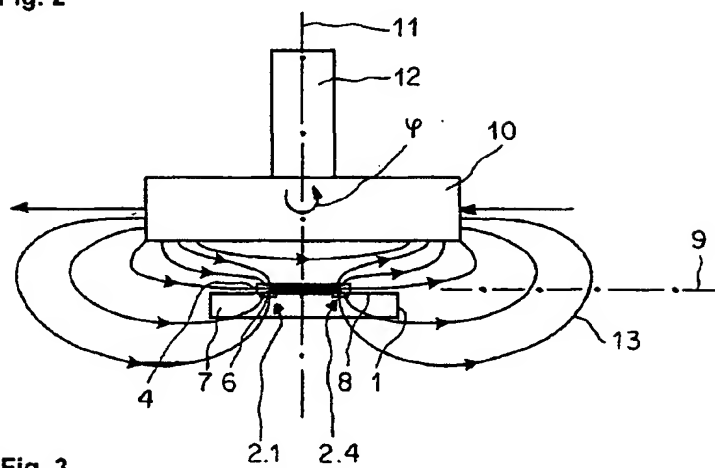


Fig. 3

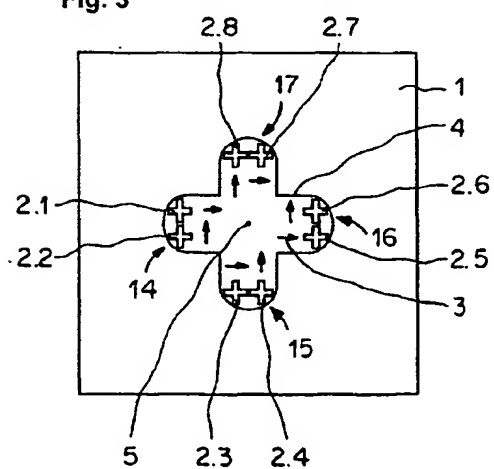


Fig. 4

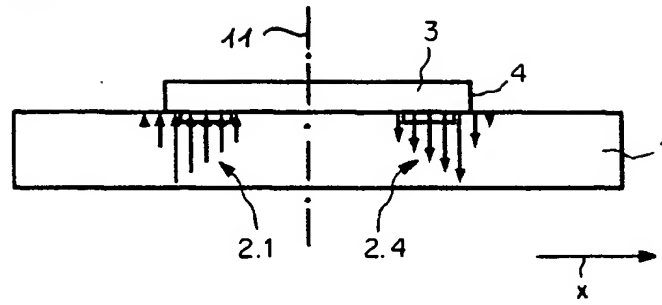


Fig. 5

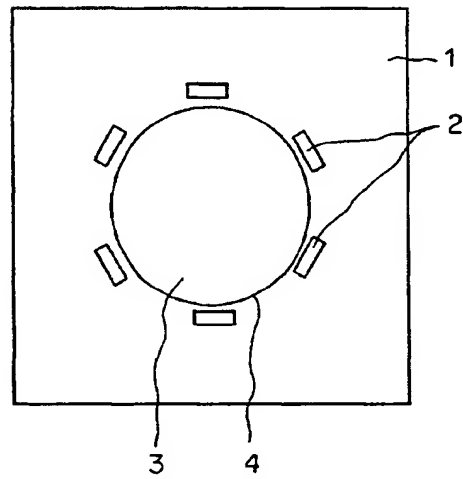


Fig. 6

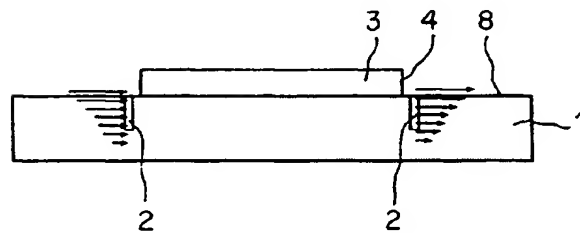




Fig. 7A

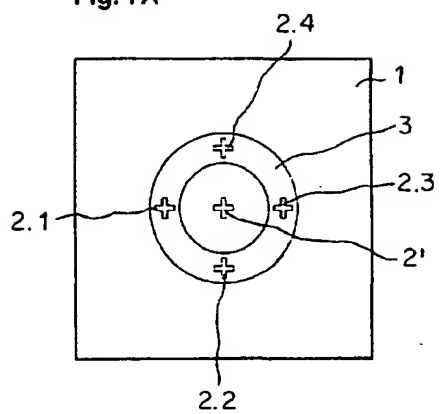


Fig. 7B

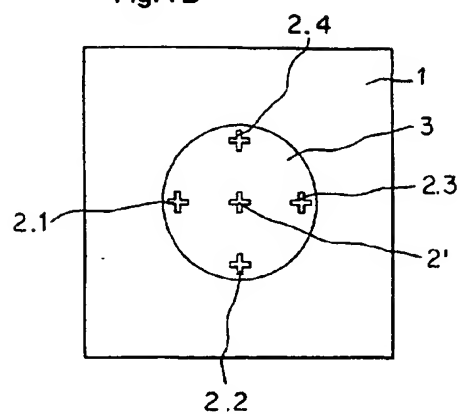


Fig. 8

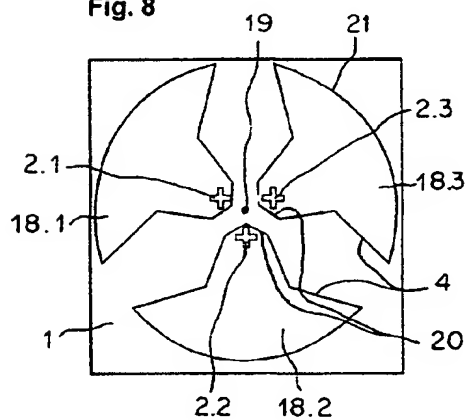


Fig. 9

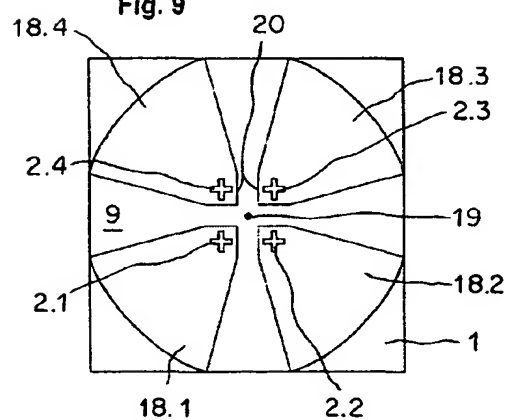


Fig. 10

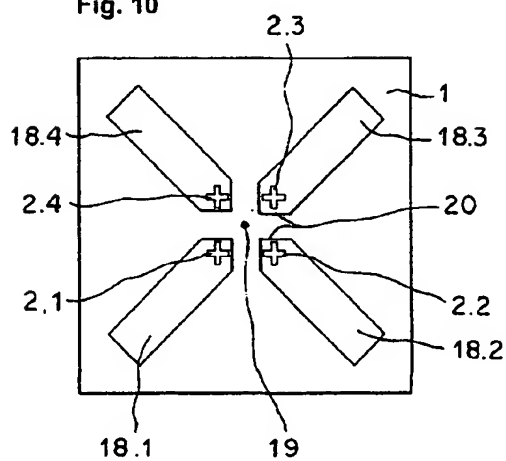
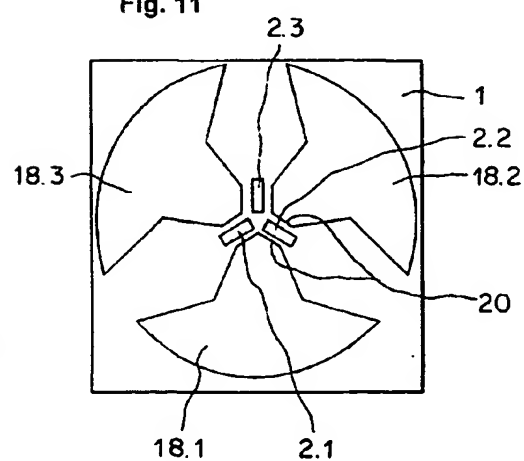


Fig. 11



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**